



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 112014013864-8 B1



(22) Data do Depósito: 21/11/2012

(45) Data de Concessão: 02/06/2020

(54) Título: ELEMENTO TUBULAR E CONEXÃO TUBULAR ROSQUEADA

(51) Int.Cl.: F16L 15/06; E21B 17/042; F16B 33/02.

(30) Prioridade Unionista: 09/12/2011 US 13/315,354.

(73) Titular(es): TENARIS CONNECTIONS B.V..

(72) Inventor(es): GASTON MAZZAFERRO; TOMMASO COPPOLA; STEFANO AMATO; RAMON ALBERTO AGUILAR ARMENDARIZ; PHILIPPE PIERRE DARCIS.

(86) Pedido PCT: PCT IB2012056597 de 21/11/2012

(87) Publicação PCT: WO 2013/084099 de 13/06/2013

(85) Data do Início da Fase Nacional: 06/06/2014

(57) Resumo: ELEMENTO TUBULAR E CONEXÃO TUBULAR ROSQUEADA A presente invenção revela uma conexão rosqueada com uma elipse dupla na raiz da rosca para reduzir a tensão por fadiga. A cavidade da raiz inclui uma primeira porção compreendendo uma primeira superfície elíptica que é parte de uma primeira elipse. A cavidade de raiz inclui ainda uma segunda porção compreendendo uma segunda superfície elíptica que é parte de uma segunda elipse, e sendo a segunda superfície elíptica unida tangencialmente em uma primeira extremidade à primeira superfície elíptica em um ponto de junção que define a base da cavidade da raiz. A segunda superfície elíptica é unida tangencialmente em uma segunda extremidade ao flanco de carga.

ELEMENTO TUBULAR E CONEXÃO TUBULAR ROSQUEADA**CAMPO DA INVENÇÃO**

[0001] Esta invenção refere-se de modo geral a conexões de dutos, e em particular a uma conexão rosqueada com um projeto aprimorado do perfil de raiz e filetes, que melhora a resistência à fadiga.

ESTADO DA TÉCNICA

[0002] A busca por petróleo, ou, de forma mais geral, hidrocarbonetos, está se tornando mais demandante em termos de equipamentos e dispositivos nos anos recentes, uma vez que os campos (reservatórios) de óleo e gás estão localizados em maiores profundidades na Terra ou em lugares difíceis de alcançar.

[0003] Várias atividades de perfuração e produção em terra (*onshore*) requerem conexões tubulares com altos níveis de resistência à fadiga; por exemplo, a aplicação em perfurações e aplicações térmicas.

[0004] Adicionalmente, a exploração e a produção em campos de hidrocarbonetos em ambientes de águas profundas (aplicações *offshore*) têm aumentado e necessitam de conexões tubulares que sejam mais resistentes a desafios ambientais como fadiga e corrosão.

[0005] Plataformas *offshore* possuem instalações de produção localizadas acima da superfície marinha. Estas instalações são frequentemente usadas para a exploração de campos de

hidrocarbonetos localizados abaixo do solo marinho. Estas plataformas são ancoradas ao fundo do mar e dutos tubulares são usados para entregar os hidrocarbonetos de poços perfurados nos reservatórios abaixo do solo marinho. Os dutos tubulares são por vezes referenciados na arte como *risers*.

[0006] Estes *risers* estão imersos no mar e sujeitos a movimentos causados pelas correntes marinhas e pelos movimentos ondulares na superfície da água. Devido a movimentos contínuos e periódicos do mar, os dutos tubulares não permanecem imóveis, mas estão sujeitos a movimentos laterais de baixa magnitude que podem produzir deformações em certas partes das conexões tubulares. Estes *risers* devem suportar cargas que induzem estresse por fadiga nos tubos e nas conexões tubulares, em particular em relação à zona da conexão rosqueada. Estas tensões tendem a causar rupturas no tubo e/ou na conexão na vizinhança da rosca, e há uma necessidade de aprimorar a resistência a fadiga das conexões rosqueadas.

[0007] Algumas patentes anteriores, por exemplo, US 7.780.202 e US 6.609.735, descrevem conexões do tipo encaixe flanco-a-flanco (FtF) que estão sujeitas à fadiga, incluindo conexões de *risers*.

[0008] Outras conexões rosqueadas convencionais com encaixe de interferência do estado da arte atual (incluindo formas de roscas API estilo suporte) possuem perfis nos quais as roscas se encaixam ao longo de apenas um flanco de um filamento durante a montagem. Este tipo de conexão deve descarregar completamente o

flanco de contato, passar por um movimento relativo entre o pino e o encaixe até que os flancos opostos se contatem, e então transferir a carga para o novo flanco de contato. Carregamento e transferências de carga laterais cíclicas e repetidas tornam estes tipos de conexão especialmente suscetíveis a falhas por fadiga.

[0009] Em roscas flanco-a-flanco (FtF), durante a montagem, é feito contato entre flancos de contato e flancos de carga. Existe um espaço livre entre as cristas e as raízes. A rosca é projetada com os dentes de um membro sendo mais largos que os dentes correspondentes do outro membro (por exemplo, interferência flanco-a-flanco). Devido à inclinação dos flancos, as forças de contato (normais à superfície do flanco) têm o componente principal posicionado em uma direção axial, pressionando o material que forma os dentes da rosca. Para alcançar a interferência flanco-a-flanco, as forças de contato trabalham principalmente na elasticidade dos dentes. A elasticidade dos dentes é muito baixa, de forma que altas pressões de contato são alcançadas durante a montagem. Isto explica porque roscas FtF possuem alta tendência de escoriação durante a montagem.

[0010] Desvantagens adicionais das roscas FtF estão presentes para ângulos muito agudos do flanco frontal da rosca, medidos em comparação a uma superfície perpendicular ao eixo do tubo. A ação de compressão da conexão é insatisfatória porque este tipo de solução favorece o início do fenômeno definido como *jump-in*, quando as forças de compressão excedem certos limites. O *jump-*

in ocorre quando o segmento de tubo macho desliza para dentro do segmento fêmea, excedendo a resistência do rosqueamento das duas peças. Este fenômeno ocorre mais frequentemente quanto mais inclinado for o ângulo do início da rosca.

[0011] Outra desvantagem do tipo de rosca FtF é que ele está sujeito a um alto risco de rasgamento da junta com o risco consequente de não assegurar a selagem hermética dos fluidos dentro do tubo. Devido ao efeito de rasgamento, o torque varia muito durante o procedimento de rosqueamento (montagem) da junta. Este tipo de junta possui, tipicamente, mais voltas. Isto introduz dificuldades em fazer a junta e cria a possibilidade de imprecisão na aplicação do torque de montagem correto.

[0012] Em roscas crista-raiz (CtR), que são usadas na conexão rosqueada da presente descrição, durante a montagem, é feito contato entre um par de flancos correspondentes (flancos de carga para a tensão, ou flancos de contato para a compressão), e também é feito contato entre crista e raízes. A rosca CtR é projetada com uma interferência entre crista e raízes. Neste caso, o componente principal das forças de contato (normais à superfície da crista/raiz) está localizado em uma direção radial, desta forma a interferência é alcançada, tirando-se vantagem da elasticidade de um corpo tubular pela deformação geométrica do tubo. Apenas uma pequena parte da interferência é alcançada pela elasticidade dos dentes da rosca, portanto as pressões de contato alcançadas nos dentes são mais baixas que no caso de roscas FtF, e assim a tendência a escoriações durante a montagem é diminuída.

[0013] O projeto de CtR da presente descrição possui um desempenho à fadiga otimizado e também possui uma tendência a escoriações muito baixa durante a montagem. Sendo assim, a presença de microrrachaduras (devido às escoriações) é minimizada.

[0014] A presente descrição pode ser usada em conexões integrais, conexões rosqueadas e conexões acopladas, e em conectores rosqueadas com grande diâmetro externo (OD), para aplicações *offshore* e *onshore*. Existem dois tipos principais de conectores rosqueados com grande OD usados para *risers* de produção. O primeiro tipo é referenciado na arte como do tipo "soldado"; o pino e a caixa são manufacturados separadamente a partir de materiais com paredes reforçadas e então soldados ao tubo. No segundo tipo, referenciado na arte como do tipo "rosqueado e acoplado", o pino é tipicamente manufacturado diretamente nas extremidades do tubo. A caixa é manufacturada em cada extremidade de uma conexão que é usada para unir as extremidades dos tubos.

[0015] Ademais, o projeto da presente descrição pode ser combinado com configurações de selo entre metais internas e/ou externas e/ou intermediárias, selos de elastômero internos e externos, selos entre metais intermediários, e roscas de duas etapas. Para conectores de grandes diâmetros, guias de contato e dispositivos antirrotação podem também ser usados junto com o perfil de rosqueamento desta descrição.

SUMÁRIO

[0016] Um projeto de conexão rosqueada com uma elipse dupla na raiz da rosca para reduzir a tensão de fadiga é descrito aqui. No projeto da presente invenção, o raio do concentrador de tensão (localizado na junta entre a raiz e o flanco de carga) é aumentado usando uma configuração de elipse dupla (superfície curva com raio variável, e não um arco de círculo que tem um raio constante). Esta configuração permite a maximização do raio do concentrador de tensão, mas também minimiza a perda de contato entre os flancos de carga, e também minimiza a seção da conexão na qual a "seção crítica" está localizada. Outro benefício deste perfil é que o concentrador de tensão é afastado dos pontos de contato entre pino e caixa, de forma que o estado tensionado do concentrador de tensão é mais benéfico ao comportamento frente à fadiga da junta. No novo projeto descrito aqui, é assegurado o contato maximizado entre os flancos e cristas de carga e as raízes, de forma que o movimento relativo entre as partes da conexão é minimizado. De forma geral, o perfil da superfície das raízes na presente descrição é composto por uma porção linear e uma porção curva com um perfil de elipse dupla.

[0017] Em particular, é descrito um projeto para um rosqueamento macho ou fêmea, que fica disposto em uma extremidade de um elemento tubular. O rosqueamento macho ou fêmea inclui: uma superfície cônica de raiz com um primeiro ângulo de variação (β) medido a partir de um eixo longitudinal (aa) do rosqueamento, sendo que a superfície cônica de raiz é unida tangencialmente em uma primeira extremidade a uma superfície curva côncava com raio constante de curvatura a um flanco de contato, e sendo que a

superfície cônica de raiz é unida tangencialmente em uma segunda extremidade a uma superfície curva convexa com raio constante de curvatura a uma cavidade da raiz. A cavidade da raiz se estende da superfície cônica de raiz até um flanco de carga.

[0018] A cavidade da raiz inclui: uma primeira porção compreendendo uma primeira superfície elíptica com raio variável de curvatura, sendo a primeira superfície elíptica parte de uma elipse, e sendo que a cavidade da raiz inclui ainda uma segunda porção compreendendo uma segunda superfície elíptica com raio variável de curvatura, sendo a segunda superfície elíptica parte de uma elipse, e sendo a segunda superfície elíptica unida tangencialmente em uma primeira extremidade à primeira superfície elíptica em um ponto de junção que define a base da cavidade da raiz; e sendo a segunda superfície elíptica propriamente dita unida tangencialmente em uma segunda extremidade ao flanco de carga. A base da cavidade da raiz é disposta na parede lateral do elemento tubular, abaixo do nível da superfície cônica de raiz.

[0019] A superfície cônica de raiz (101) inclui um primeiro ângulo de inclinação (β) medido entre a superfície cônica de raiz 101 e um eixo longitudinal (aa) do rosqueamento. Em algumas implementações, o primeiro ângulo de inclinação (β) é 0 grau, de forma que a superfície cônica de raiz (101, 301) é paralela ao eixo do rosqueamento (aa). Em outras implementações, o primeiro ângulo de inclinação (β) é maior que 0, mas é menor que o valor medido de um ângulo entre um flanco de contato 220 do rosqueamento macho e o eixo de rosqueamento (aa).

[0020] Em algumas implementações, um ângulo theta medido entre o eixo do rosqueamento (aa) e o eixo longitudinal (dd) da parede lateral do elemento tubular (11) está entre 1,5 grau e 12 graus.

[0021] Na presente descrição, o eixo principal (cc) da segunda elipse é disposto perpendicularmente ao flanco de carga; e o eixo principal (bb) da primeira elipse é perpendicular ao eixo principal (cc) da segunda elipse. O eixo principal (bb) da primeira elipse é concorrente ao eixo secundário da segunda elipse.

[0022] Em algumas implementações, a primeira elipse e a segunda elipse têm o mesmo tamanho. Por exemplo, a primeira elipse tem um primeiro diâmetro pré-determinado (D1) ao longo do eixo principal (bb), e um segundo diâmetro pré-determinado (D2) ao longo do eixo secundário; e onde a segunda elipse possui um diâmetro pré-determinado (D3) ao longo do eixo principal (cc) que é igual ao diâmetro (D1) ao longo do eixo principal (bb) da primeira elipse, e a segunda elipse tem um segundo diâmetro (D4) ao longo do eixo secundário que é igual ao diâmetro (D2) ao longo do eixo secundário da primeira elipse.

[0023] Em outras implementações, as elipses podem ter formas diferentes. Por exemplo, a primeira elipse tem um primeiro diâmetro pré-determinado (D1) ao longo do eixo principal (bb), e um segundo diâmetro pré-determinado (D2) ao longo do eixo secundário; e onde a segunda elipse tem um diâmetro pré-

determinado (D3) ao longo do eixo principal (cc) que é igual ao diâmetro (D1) ao longo do eixo principal (bb) da primeira elipse, e a segunda elipse tem um segundo diâmetro (D4) ao longo do eixo secundário que é maior que o diâmetro (D2) ao longo do eixo secundário da primeira elipse. Em outras implementações, o segundo diâmetro (D4) ao longo do eixo secundário da segunda elipse é maior que o diâmetro (D2) ao longo do eixo secundário da primeira elipse, porém o diâmetro D1 não precisa necessariamente ser igual ao diâmetro D3. Em outras implementações, o segundo diâmetro (D4) ao longo do eixo secundário é menor que o diâmetro (D2) ao longo do eixo secundário da primeira elipse. Em outras implementações o diâmetro (D3) ao longo do eixo principal (cc) da segunda elipse é menor que o diâmetro D1 ao longo do eixo principal (bb) da primeira elipse. Em outras implementações, o diâmetro (D3) ao longo do eixo principal (cc) da segunda elipse pode ser maior que o diâmetro (D1) ao longo do eixo principal (bb) da primeira elipse. Deve ser entendido, e é expressamente descrito, que qualquer combinação de uma ou mais das configurações de diâmetro de elipses acima pode ser usada na implementação desta invenção.

[0024] Em algumas implementações, o flanco de carga se inclina se distanciando da cavidade da raiz, e um ângulo medido entre o flanco de carga e uma linha perpendicular ao eixo do rosqueamento (aa) está na faixa de 0 a 5 graus. Isto é referenciado na arte como uma rosca trapezoidal. Em outras implementações, o flanco de carga se inclina se aproximando da cavidade da raiz, e um ângulo medido entre o flanco de carga e uma linha perpendicular ao eixo do rosqueamento (aa) está na

faixa de 0 a -9 graus. Isto é referenciado na arte como uma rosca do tipo gancho.

[0025] As várias implementações do perfil de raiz de elipse dupla da presente invenção podem ser usadas em uma conexão rosqueada com um elemento tubular macho incluindo um rosqueamento cônico macho com um eixo de inclinação (aa), e um elemento tubular fêmea incluindo um rosqueamento cônico fêmea com um eixo de inclinação (aa), sendo que o rosqueamento fêmea propriamente dito coopera com o rosqueamento macho quando a conexão entre as roscas é feita. A superfície da raiz em pelo menos um dentre o rosqueamento macho e o rosqueamento fêmea inclui uma superfície cônica com um primeiro ângulo de inclinação (β) medido entre a superfície cônica de raiz 101 e um eixo longitudinal (aa) do rosqueamento, sendo a superfície cônica de raiz propriamente dita unida tangencialmente em uma primeira extremidade por uma superfície curva côncava com raio constante de curvatura a um flanco de contato, e sendo a superfície cônica de raiz propriamente dita unida tangencialmente em uma segunda extremidade por uma superfície curva convexa com raio constante de curvatura a uma cavidade da raiz. A cavidade da raiz se estende da superfície cônica de raiz até um flanco de carga. A cavidade da raiz inclui: uma primeira porção compreendendo uma primeira superfície elíptica com raio variável de curvatura, sendo a primeira superfície elíptica propriamente dita parte de uma elipse, e a cavidade da raiz propriamente dita inclui ainda uma segunda porção compreendendo uma segunda superfície elíptica com raio variável de curvatura, sendo a segunda superfície elíptica propriamente dita parte de uma elipse, e sendo que a

segunda superfície elíptica propriamente dita é unida tangencialmente em uma primeira extremidade à primeira superfície elíptica em um ponto de junção que define a base da cavidade da raiz, e sendo a segunda superfície elíptica propriamente dita unida tangencialmente em uma segunda extremidade ao flanco de carga. A base da cavidade da raiz é disposta na parede lateral do elemento tubular abaixo do nível da superfície cônica de raiz.

[0026] É descrito um método para cortar um rosqueamento cônico macho ou fêmea com o perfil de raiz de elipse dupla da presente invenção. O método inclui: prover um elemento tubular; cortar um rosqueamento cônico macho fêmea em uma extremidade do referido elemento tubular, em que o rosqueamento cônico macho ou fêmea propriamente dito inclui uma superfície cônica de raiz que tem um primeiro ângulo de inclinação (β), medido entre a superfície da raiz cônica 101 e um eixo longitudinal (aa) do rosqueamento, sendo a superfície cônica de raiz unida tangencialmente em uma primeira extremidade por uma superfície curva côncava com raio constante de curvatura a um flanco de contato, sendo a superfície cônica de raiz unida em uma segunda extremidade por uma superfície curva convexa com raio constante de curvatura a uma cavidade da raiz. A cavidade da raiz se estende da superfície cônica de raiz até um flanco de carga. A cavidade da raiz inclui: uma primeira porção compreendendo uma primeira superfície elíptica com raio variável de curvatura, sendo a primeira superfície elíptica propriamente dita parte de uma elipse, e a cavidade da raiz propriamente dita inclui ainda uma segunda porção compreendendo uma segunda superfície elíptica

com raio variável de curvatura, sendo a segunda superfície elíptica propriamente dita parte de uma elipse, e sendo que a segunda superfície elíptica propriamente dita é unida tangencialmente em uma primeira extremidade à primeira superfície elíptica em um ponto de junção que define a base da cavidade da raiz, e sendo a segunda superfície elíptica propriamente dita unida tangencialmente em uma segunda extremidade ao flanco de carga. A base da cavidade da raiz é disposta na parede lateral do elemento tubular abaixo do nível da superfície cônica de raiz.

[0027] Os detalhes de uma ou mais implementações da invenção são apresentados nos desenhos em anexo e na descrição abaixo. Outras características, objetos, e vantagens da invenção serão aparentes a partir da descrição e dos desenhos, e a partir das reivindicações.

DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0028] A Figura 1 é uma seção transversal parcial de uma primeira implementação de um projeto de conexão rosqueada com uma elipse dupla na raiz do rosqueamento para reduzir a tensão por fadiga;

[0029] A Figura 1A é uma porção aumentada da seção transversal da Figura 1, onde o ângulo de inclinação do rosqueamento é aumentado ainda mais para propósitos ilustrativos;

[0030] A Figura 2 é uma seção transversal parcial de uma segunda implementação de um projeto de conexão rosqueada com uma elipse dupla na raiz do rosqueamento para reduzir a tensão por fadiga;

[0031] A Figura 2A é uma porção aumentada da seção transversal da Figura 2, onde o ângulo de inclinação do rosqueamento é aumentado ainda mais para propósitos ilustrativos;

[0032] A Figura 3 é uma seção transversal parcial de uma terceira implementação de um projeto de conexão rosqueada com uma elipse dupla na raiz do rosqueamento para reduzir a tensão por fadiga;

[0033] A Figura 3A é uma porção aumentada da seção transversal da Figura 3, onde o ângulo de inclinação do rosqueamento é aumentado ainda mais para propósitos ilustrativos;

[0034] As Figuras 4A a 4D são seções transversais parciais ilustrando diferentes perfis de raiz de uma rosca crista a raiz (CtR);

[0035] A Figura 5 é uma seção transversal parcial de uma conexão tubular com um perfil de rosqueamento da Figura 1;

[0036] A Figura 6 é uma seção transversal parcial de uma conexão tubular com um perfil de rosqueamento da Figura 2;

[0037] A Figura 7 é uma seção transversal parcial de uma conexão tubular com um perfil de rosqueamento da Figura 3;

[0038] A Figura 8A é uma ilustração gráfica de dados gerados por análise de elementos finitos mostrando ciclos estimados para falha por fadiga de uma rosca CtR anteriormente conhecida na arte;

[0039] A Figura 8B é uma ilustração gráfica de dados gerados por análise de elementos finitos mostrando ciclos estimados para falha por fadiga de uma rosca com perfil de elipse dupla da presente descrição;

[0040] A Figura 9A é uma ilustração gráfica de dados gerados por análise de elementos finitos mostrando a distribuição de tensão de uma rosca CtR anteriormente conhecida na arte;

[0041] A Figura 9B é uma ilustração gráfica de dados gerados por análise de elementos finitos mostrando a distribuição de tensão de uma rosca com perfil de elipse dupla da presente descrição;

[0042] Símbolos de referência semelhantes nos vários desenhos indicam elementos semelhantes.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[0043] Com referência à Figura 1, onde é ilustrada uma primeira implementação de um projeto de conexão rosqueada com uma elipse dupla na raiz do rosqueamento para reduzir a tensão por fadiga. Um elemento tubular possui um rosqueamento macho 100 disposto em um pino 12 na extremidade do elemento tubular 11. O rosqueamento macho 100 inclui uma superfície cônica de raiz 101. Na primeira implementação ilustrada na Figura 1, a superfície cônica de raiz 101 é paralela ao eixo do rosqueamento (aa). O eixo do rosqueamento (aa) forma um ângulo θ de aproximadamente 2,4 graus com um eixo longitudinal (dd) da parede do tubo 11. A faixa admissível para theta nesta implementação pode variar de cerca de 1,5 graus até 12 graus, e mais preferencialmente de 1,5 até 4,5 graus. Deve ser entendido que, nesta modalidade, uma vez que a superfície cônica de raiz 101 é paralela ao eixo aa do rosqueamento, um ângulo β entre a superfície cônica de raiz 101 e o eixo do rosqueamento (aa) será igual a 0 grau. Porém, em uma modificação desta modalidade, o ângulo β pode ter outros valores (por exemplo, vide a Figura 2).

[0044] A superfície cônica de raiz 101 é unida tangencialmente em uma primeira extremidade por uma superfície curva côncava 102 com raio constante de curvatura a um flanco de contato 120, e a superfície cônica de raiz 101 é unida em uma segunda extremidade por uma superfície curva convexa 104 com raio constante de curvatura a uma cavidade da raiz 103. A cavidade da raiz 103 se estende da superfície cônica de raiz 101 até um flanco de carga 150.

[0045] A cavidade da raiz 103 inclui uma primeira porção compreendendo uma primeira superfície elíptica 106 com raio variável de curvatura. A primeira superfície elíptica 106 é parte de uma elipse 107. A cavidade da raiz propriamente dita inclui ainda uma segunda porção compreendendo uma segunda superfície elíptica 108 com raio variável de curvatura. A segunda superfície elíptica 108 é parte de uma segunda elipse 110. A segunda superfície elíptica 108 é unida tangencialmente em uma primeira extremidade à primeira superfície elíptica 106 em um ponto de junção 109 que define a base da cavidade da raiz 103. A segunda superfície elíptica é unida tangencialmente em uma segunda extremidade ao flanco de carga 150.

[0046] A base da cavidade da raiz 103 é disposta abaixo do nível da superfície cônica de raiz 101.

[0047] O eixo principal (bb) da primeira elipse 107 é disposto perpendicularmente ao eixo principal (cc) da segunda elipse 110, e o eixo principal (bb) da primeira elipse 107 é concorrente

(alinhado e sobreposto) ao eixo secundário da segunda elipse 110. Esta configuração assegura que as elipses 107 e 110 se unam tangencialmente no ponto de junção 109.

[0048] Na primeira implementação ilustrada na Figura 1, o eixo principal (cc) da segunda elipse 110 é disposta perpendicularmente ao flanco de carga 150. Esta configuração assegura que a segunda elipse 110 seja unida tangencialmente ao flanco de carga 150.

[0049] Na primeira implementação ilustrada na Figura 1, a primeira elipse 107 tem um primeiro diâmetro pré-determinado (D1) ao longo do eixo principal (bb), e um segundo diâmetro pré-determinado (D2) ao longo do eixo secundário; e onde a segunda elipse 110 possui um diâmetro pré-determinado (D3) ao longo do eixo principal (cc) que é igual ao diâmetro (D1) ao longo do eixo principal (bb) da primeira elipse 107, e a segunda elipse 110 tem um segundo diâmetro (D4) ao longo do eixo secundário que é igual ao diâmetro (D2) ao longo do eixo secundário da primeira elipse 107. Nesta configuração, a primeira elipse 107 e a segunda elipse 110 têm formas idênticas. Alternativamente, deve ser entendido que, no projeto do rosqueamento 100, a primeira elipse 107 e a segunda elipse 110 podem ter diâmetros relativos diferentes. Por exemplo, a primeira elipse 107 pode ser maior e mais estreita que a implementação ilustrada na Figura 1 (por exemplo, a elipse pode ter forma similar à da elipse 207 ilustrada na Figura 2).

[0050] Deve ser entendido que uma conexão de caixa fêmea pode possuir os mesmos elementos e o mesmo perfil do rosqueamento macho 100 ilustrado e discutido acima.

[0051] Com referência à Figura 5, onde é ilustrada uma conexão tubular que possui um primeiro tubo 11 com um pino 12 na extremidade do elemento tubular com o rosqueamento cônico macho 100 (como ilustrado na Figura 1) montado a uma extremidade caixa fêmea 14 de um segundo tubo 13. A extremidade caixa fêmea 14 é ilustrada com o mesmo perfil de rosqueamento 100 do rosqueamento macho 100. Na presente discussão, posteriormente, será entendido que o rosqueamento macho e o rosqueamento fêmea não precisam ser idênticos, e o rosqueamento macho ou o rosqueamento fêmea podem ter modificações como será discutido.

[0052] Na primeira implementação ilustrada nas Figuras 1, 1A e 5, o flanco de carga 150 se inclina positivamente na direção oposta à da cavidade da raiz 103 (será notado que a Figura 1A tem o ângulo do flanco de carga 150 exagerado para propósitos ilustrativos). Tal configuração de rosca é referenciada na arte como uma rosca trapezoidal. O ângulo do flanco de carga medido com uma linha perpendicular ao eixo (aa) do rosqueamento está geralmente na faixa de 0 a 5 graus, e mais preferencialmente de 1,5 a 5 graus, e preferencialmente cerca de 3 graus. Ademais, ângulos de 0° (ou seja, flanco de carga perpendicular ao eixo aa do rosqueamento) também podem ser usados. Adicionalmente, ângulos negativos de flanco de -9° a 0° (por exemplo, vide Figura 3A) podem também ser usados para variações desta modalidade. Ou seja, o ângulo do flanco de carga pode variar de -9° a 5° e uma

faixa preferencial para esta modalidade é de 1,5° a 5°, e o valor preferencial é 3°.

[0053] Com referência à Figura 2 onde é ilustrada uma segunda implementação de um projeto de conexão rosqueada com uma elipse dupla na raiz da rosca para reduzir a tensão por fadiga. Um eixo de rosqueamento (aa) forma um ângulo theta preferencial de aproximadamente 2,4 graus com um eixo longitudinal (dd) da parede do tubo 21. A faixa para theta nesta implementação pode variar de cerca de 1,5 grau até 12 graus, e mais preferencialmente de 1,5 até 4,5 graus.

[0054] Na segunda implementação, uma rosca cônica 200 inclui uma superfície cônica de raiz 201 disposta a um ângulo de inclinação (β) medido entre a superfície da raiz 201 e o eixo de inclinação (aa). O ângulo de inclinação (β) medido a partir do eixo de inclinação (aa) do rosqueamento é menor que um ângulo medido entre o flanco de contato (220) e o eixo aa do rosqueamento. A superfície cônica de raiz 201 é unida tangencialmente em uma primeira extremidade por uma superfície curva côncava 202 com raio constante de curvatura a um flanco de contato 220, e a superfície cônica de raiz 201 é unida em uma segunda extremidade por uma superfície curva convexa 204 com raio constante de curvatura a uma cavidade da raiz 203. A cavidade da raiz 203 se estende da superfície cônica de raiz 201 até um flanco de carga 250.

[0055] A cavidade da raiz 203 inclui uma primeira porção compreendendo uma primeira superfície elíptica 206 com raio

variável de curvatura. A primeira superfície elíptica 206 é parte de uma elipse 207. A cavidade da raiz propriamente dita inclui ainda uma segunda porção compreendendo uma segunda superfície elíptica 208 com raio variável de curvatura. A segunda superfície elíptica 208 é parte de uma segunda elipse 210. A segunda superfície elíptica 208 é unida tangencialmente em uma primeira extremidade à primeira superfície elíptica 206 em um ponto de junção 209 que define a base da cavidade da raiz 203. A segunda superfície elíptica é unida tangencialmente em uma segunda extremidade ao flanco de carga 250. A base da cavidade 203 é posicionada abaixo do nível da superfície cônica de raiz 201.

[0056] O eixo principal (bb) da primeira elipse 207 é disposto perpendicularmente ao eixo principal (cc) da segunda elipse 210, e o eixo principal (bb) da primeira elipse 207 é concorrente (alinhado e sobreposto) ao eixo secundário da segunda elipse 210. Esta configuração assegura que as elipses 207 e 210 se unam tangencialmente no ponto de junção 209.

[0057] Na segunda implementação ilustrada na Figura 2, o eixo principal (cc) da segunda elipse 210 é disposto perpendicularmente ao flanco de carga 250. Esta configuração assegura que a segunda elipse 210 se una tangencialmente ao flanco de carga 250.

[0058] Na segunda implementação, a primeira elipse 207 tem um primeiro diâmetro pré-determinado (D1) ao longo do eixo principal (bb), e um segundo diâmetro pré-determinado (D2) ao longo do eixo secundário; e onde a segunda elipse 210 possui um

diâmetro pré-determinado (D3) ao longo do eixo principal (cc) que é igual ao diâmetro (D1) ao longo do eixo principal (bb) da primeira elipse 207, e a segunda elipse 210 tem um segundo diâmetro (D4) ao longo do eixo secundário que é igual ao diâmetro (D2) ao longo do eixo secundário da primeira elipse 207. Alternativamente, deve ser entendido que, no projeto do rosqueamento 200, a primeira elipse 207 e a segunda elipse 210 podem ter diâmetros relativos diferentes. Por exemplo, a segunda elipse 210 pode ter um primeiro diâmetro (D3) ao longo do eixo principal que pode ser maior que o diâmetro (D1) ao longo do eixo principal da primeira elipse.

[0059] Deve ser entendido que uma conexão caixa fêmea pode ter os mesmos elementos e o mesmo perfil que o rosqueamento macho 200 ilustrado e discutido acima.

[0060] Com referência à Figura 6, onde é ilustrada uma conexão tubular 20 com um primeiro tubo 21 com um pino macho 22 na extremidade do elemento tubular com o rosqueamento cônico macho 200 (como ilustrado na Figura 2) montado a uma extremidade caixa fêmea 24 de um segundo tubo 23. A extremidade caixa fêmea 24 é ilustrada com um perfil de rosqueamento modificado 100 (como ilustrado na Figura 3). Deve ser entendido que o rosqueamento macho e o rosqueamento fêmea não precisam ser idênticos como ilustrado na Figura 6, desde que as superfícies sejam projetadas para se encaixar adequadamente. Será também entendido que o rosqueamento macho ou o rosqueamento fêmea podem ser idênticos, como já discutido aqui em relação às Figuras 1 e 5.

[0061] Na segunda implementação (vide Figuras 2, 2A e 6), o flanco de carga 250 se inclina positivamente na direção oposta à da cavidade da raiz 203 (será notado que a Figura 2A tem o ângulo do flanco de carga 250 exagerado para propósitos ilustrativos). Tal configuração de rosca é referenciada na arte como uma rosca trapezoidal. O ângulo do flanco de carga medido com uma linha perpendicular ao eixo (aa) do rosqueamento está geralmente na faixa de 0 a 5 graus, e mais preferencialmente de 1,5 a 5 graus, e preferencialmente cerca de 3 graus. Em variações desta modalidade, um ângulo de 0° (ou seja, flanco de carga perpendicular ao eixo aa do rosqueamento) também pode ser usado. Adicionalmente, ângulos negativos de flanco de -9° a 0° (por exemplo, vide Figura 3) podem também ser usados para variações desta modalidade. Ou seja, o ângulo do flanco de carga pode variar de -9° a 5° e uma faixa preferencial para esta modalidade é de 1,5° a 5°, e o valor preferencial é 3°.

[0062] Com referência à Figura 3 onde é ilustrada uma terceira implementação de um projeto de conexão rosqueada 300 com uma elipse dupla na raiz da rosca para reduzir a tensão por fadiga. O rosqueamento cônico macho 300 inclui uma superfície cônica de raiz 301. O eixo de rosqueamento (aa) forma um ângulo theta preferencial com o eixo longitudinal do tubo (dd) de aproximadamente 8 graus. A faixa para theta nesta implementação pode variar de cerca de 1,5 grau até 12 graus, e mais preferencialmente de 4,5 até 12 graus.

[0063] Na terceira implementação ilustrada na Figura 3, a superfície cônica de raiz 301 é paralela ao eixo de rosqueamento

(aa) como na implementação da Figura 1. Deve ser entendido que, nesta modalidade, uma vez que a superfície cônica de raiz 301 é paralela ao eixo aa do rosqueamento, um ângulo β entre a superfície cônica de raiz 301 e o eixo de rosqueamento (aa) será igual a 0 grau. Porém, em uma modificação desta modalidade, o ângulo β pode ter outros valores (por exemplo, vide a Figura 2).

[0064] A superfície cônica de raiz 301 é unida tangencialmente em uma primeira extremidade por uma superfície curva côncava 302 com raio constante de curvatura a um flanco de contato 320, e a superfície cônica de raiz 301 é unida em uma segunda extremidade por uma superfície curva convexa 304 com raio constante de curvatura a uma cavidade da raiz 303. A cavidade da raiz 303 se estende da superfície cônica de raiz 301 até um flanco de carga 350.

[0065] A cavidade da raiz 303 inclui uma primeira porção compreendendo uma primeira superfície elíptica 306 com raio variável de curvatura. A primeira superfície elíptica 306 é parte de uma elipse 307. A cavidade da raiz propriamente dita inclui ainda uma segunda porção compreendendo uma segunda superfície elíptica 308 com raio variável de curvatura. A segunda superfície elíptica 308 é parte de uma segunda elipse 310. A segunda superfície elíptica 308 é unida tangencialmente em uma primeira extremidade à primeira superfície elíptica 306 em um ponto de junção 309 que define a base da cavidade da raiz 303. A segunda superfície elíptica é unida tangencialmente em uma segunda extremidade ao flanco de carga 350. A base da cavidade da raiz

303 é posicionada abaixo do nível da superfície cônica de raiz 301.

[0066] Na terceira implementação ilustrada na Figura 3, a primeira elipse 307 tem um primeiro diâmetro pré-determinado (D1) ao longo do eixo principal (bb), e um segundo diâmetro pré-determinado (D2) ao longo do eixo secundário; e onde a segunda elipse 310 possui um diâmetro pré-determinado (D3) ao longo do eixo principal (cc) que é igual ao diâmetro (D1) ao longo do eixo principal (bb) da primeira elipse 307, e a segunda elipse 310 tem um segundo diâmetro (D4) ao longo do eixo secundário que é igual ao diâmetro (D2) ao longo do eixo secundário da primeira elipse 307. Alternativamente, deve ser entendido que, no projeto do rosqueamento 300, a primeira elipse 307 e a segunda elipse 310 podem ter diâmetros relativos diferentes. Por exemplo, a primeira elipse 307 pode ser maior e mais estreita que a implementação ilustrada na Figura 3 (por exemplo, a elipse pode ter forma similar à da elipse 207 ilustrada na Figura 2).

[0067] O eixo principal (bb) da primeira elipse 307 é disposto perpendicularmente ao eixo principal (cc) da segunda elipse 310, e o eixo principal (bb) da primeira elipse 307 é concorrente (alinhado e sobreposto) ao eixo secundário da segunda elipse 310. Esta configuração assegura que as elipses 307 e 310 se unam tangencialmente no ponto de junção 309.

[0068] Na terceira implementação ilustrada na Figura 3, o eixo principal (cc) da segunda elipse 310 é disposto perpendicularmente ao flanco de carga 350. Esta configuração

assegura que a segunda elipse 310 se une tangencialmente ao flanco de carga 350. Todas as orientações dos outros eixos são definidas em relação ao eixo cc da segunda elipse 310.

[0069] Deve ser entendido que uma conexão caixa fêmea pode ter os mesmos elementos e o mesmo perfil do rosqueamento macho 300 ilustrado e discutido acima.

[0070] Com referência à Figura 7, onde é ilustrada uma conexão tubular 30 com um primeiro tubo 31 com um pino macho 32 na extremidade do elemento tubular com o rosqueamento cônico macho 300 (como ilustrado na Figura 3) montado a uma extremidade caixa fêmea 34 de um segundo tubo 33. A extremidade caixa fêmea 34 é ilustrada com o mesmo perfil de rosqueamento 300 do rosqueamento macho 300. Como discutido anteriormente em relação às Figuras 2 e 6, deve ser entendido que o rosqueamento macho e o rosqueamento fêmea não precisam ser idênticos, e o rosqueamento macho ou o rosqueamento fêmea podem ter modificações, desde que os perfis se encaixem um ao outro.

[0071] Na terceira implementação ilustrada nas Figuras 3, 3A e 7, o flanco de carga 350 se inclina na direção da cavidade da raiz 303 (será notado que a Figura 3A tem o ângulo do flanco de carga 350 exagerado para propósitos ilustrativos). Tal configuração de rosca é referenciada na arte como uma rosca do tipo gancho. O ângulo do flanco de carga medido com uma linha perpendicular ao eixo (aa) do rosqueamento está geralmente na faixa de -9 a 0 grau, e mais preferencialmente de -9 a -1,5 grau, e preferencialmente cerca de -3 graus. Ademais, ângulos de 0°

(ou seja, flanco de carga perpendicular ao eixo aa do rosqueamento) também podem ser usados. Adicionalmente, ângulos positivos de flanco de 0 a 5 graus (por exemplo, vide Figura 1A) podem também ser usados para variações desta modalidade. Ou seja, o ângulo do flanco de carga pode variar de -9° a 5° e uma faixa preferencial para esta modalidade é de -9° a $-1,5^\circ$, e o valor preferencial é -3° .

[0072] A presente descrição inclui ainda um método para cortar um rosqueamento macho ou fêmea 100, 200, 300 em uma extremidade de um elemento tubular. O método inclui: prover um elemento tubular 11, 21, 31, 13, 23, 33; cortar um rosqueamento cônico macho fêmea em uma respectiva extremidade em pino 12, 22, 32 ou extremidade em caixa 14, 24, 34 do elemento tubular, onde o rosqueamento cônico inclui uma superfície de raiz 101, 201, 301. A superfície cônica de raiz 101, 201, 301 é unida tangencialmente em uma primeira extremidade por uma superfície curva côncava 102, 202, 302 com raio constante de curvatura a um flanco de contato 120, 220, 320. A superfície cônica de raiz 101, 201, 301 é unida em uma segunda extremidade por uma superfície curva convexa 104, 204, 304 com raio constante de curvatura a uma cavidade da raiz 103, 203, 303. A cavidade da raiz 103, 203, 303 se estende da superfície cônica de raiz 101, 201, 301 até um flanco de carga 150, 250, 350. A cavidade da raiz 103, 203, 303 inclui: uma primeira porção compreendendo uma primeira superfície elíptica 106, 206, 306 com raio variável de curvatura, sendo a primeira superfície elíptica 106, 206, 306 parte de uma elipse 107, 207, 307, e a cavidade da raiz 103, 203, 303 inclui ainda uma segunda porção compreendendo uma

segunda superfície elíptica 108, 208, 308 com raio variável de curvatura, sendo a segunda superfície elíptica propriamente dita parte de uma segunda elipse 110, 210, 310. A segunda superfície elíptica 108, 208, 308 é unida tangencialmente em uma primeira extremidade à primeira superfície elíptica 106, 206, 306 em um ponto de junção que define a base da cavidade da raiz 109, 209, 309. A segunda superfície elíptica é unida tangencialmente em uma segunda extremidade ao flanco de carga 105, 205, 305. A segunda superfície elíptica tem ser eixo principal (cc) perpendicular ao flanco de carga 150, 250, 350. O eixo principal bb é perpendicular ao eixo principal cc. A orientação do eixo é definida considerando que cc deve ser perpendicular ao flanco de carga e que bb e cc devem ser um perpendicular ao outro.

Vantagens da Presente Invenção

[0073] O projeto de perfil de raiz da presente descrição aprimora a resistência à fadiga da conexão rosqueada por meio da ação combinada de várias características que se apresentam ao final da operação de montagem da conexão:

- a) a provisão de grandes cargas radiais (cargas de aro), como função da interferência raiz-cristas. As grandes cargas de aro aprimoram a resistência à fadiga;
- b) a provisão de grandes cargas laterais que aprimora a resistência à fadiga; e
- c) a provisão de um raio aumentado R_b (do arco da curva que conecta a raiz ao flanco) diminui a concentração de tensão das raízes do rosqueamento.

[0074] A presente configuração de projeto com duas elipses permite a maximização do raio do concentrador de tensão na junta entre o flanco de carga 150, 250, 350 e a superfície da raiz 101, 201, 301, de forma que o efeito do concentrador de tensão na performance de fadiga da junta seja minimizado. Ademais, o contato efetivo entre os flancos de carga correspondentes dos elementos macho e fêmea 12 e 14 da conexão 10 é maximizado e, portanto, a eficiência da conexão também é maximizada.

[0075] As Figuras 4A, 4B, 4C e 4D ilustram problemas e benefícios da mudança incremental na configuração do projeto a partir do projeto CTR padrão da arte da Figura 4A para um projeto de raiz exemplificador da presente descrição, como ilustrado na Figura 4D. Nas Figuras 4A a 4D, R_b é o raio do arco que conecta a raiz do rosqueamento macho ao flanco de carga do rosqueamento fêmea. R_i é o raio do arco conectando a crista do rosqueamento masculino e o flanco de carga do rosqueamento feminino. Vide a Figura 4A, onde R_b e R_i são iguais.

[0076] Com referência à Figura 4A, onde é ilustrado um contato completo entre flancos de carga. Problema: pressões de contato sobre o concentrador de tensão e baixo raio do concentrador de tensão (R_b). Benefício: alta eficiência de tensão devido ao contato maximizado entre flancos de carga L1.

[0077] Com referência à Figura B onde é ilustrado um perfil CTR modificado (similar ao projeto conhecido na arte de US 2011 0042946 A1). Benefício: o raio R_1 é aumentado para evitar pontos de contato sobre o concentrador de tensão. Problema: o estado

tensionado próximo ao concentrador de tensão é altamente afetado pelas tensões de contato e tensões remotas. Outro problema desta configuração é o baixo raio do concentrador de tensão (R_b). Esta configuração possui o mesmo R_b da Figura 4A.

[0078] Com referência à Figura 4C, para maximizar o raio do concentrador de tensão R_b , há um limite para R_b , pois é importante evitar contato completo entre os flancos de carga. Ademais, quando aumenta-se R_b , o efeito das tensões de contato no estado tensionado ao redor do concentrador de tensão se torna maior, pois os pontos A e C estão mais próximos de B.

[0079] Com referência à Figura 4D onde o raio do concentrador de tensão (R_i) do rosqueamento macho foi aumentado para maximizar o contato entre os flancos de carga, e o contato entre cristas e raízes. Ademais, o estado tensionado no concentrador de tensão é menos influenciado pelas tensões de contato e é função apenas das tensões remotas, devido ao fato dos pontos de contato A e C estarem espaçados ainda mais do concentrador de tensão. Com esta geometria, a superfície de contato L_1 é recuperada, porém sem contato no concentrador de tensão.

[0080] Com referência à Figura 4B (um projeto conhecido na arte similar a US 2011 0042946 A1) e à Figura 4D (uma implementação do projeto de raiz desta invenção), outro benefício de usar a cavidade com elipse dupla como ilustrado nas Figuras 1, 2 e 3 da presente descrição está no fato de o estado tensionado ao redor do concentrador de tensão (K_T) ser menos afetado pelos componentes da tensão devido a pontos de contato

$(\sigma_A + \sigma_C)$, e desta forma os valores de tensão são menores que aqueles obtidos para uma junta sem uma cavidade, e são apenas afetados pela tensão remota (σ_B).

[0081] Em algumas roscas CtR conhecidas na arte (vide a Figura 4B), o estado tensionado ao redor do concentrador de tensão KT é uma função das tensões de contato ($\sigma_A + \sigma_C$) e das tensões remotas (σ_B):

$$\sigma_{KT} = \sigma_A + \sigma_B + \sigma_C$$

[0082] Porém, na junta da presente descrição (vide a Figura 4D), os pontos de contato A e C estão distantes do concentrador de tensão, de forma que o estado tensionado ao redor do concentrador de tensão KT é função apenas das tensões remotas (σ_B):

$$\sigma_{KT} = \sigma_B$$

[0083] É importante notar que a escolha de elipses para formar a cavidade é baseada no fato de que elipses são funções que permitem unir duas superfícies perpendiculares com uma superfície curvada que tem um raio que varia de um ponto a outro. Portanto, os raios podem ser maximizados e minimizados. Por exemplo, um arco de círculo com o mesmo raio da elipse em KT removeria qualquer possibilidade de contato entre flancos de carga (vide as Figuras 1 a 3).

[0084] A segunda elipse para ir do flanco de carga até o KT é usada para maximizar o raio de KT, e então o projeto muda para a primeira elipse para recuperar rapidamente o contato entre

crista e raiz. Este projeto provê uma remoção mínima da superfície de contato entre crista e raiz. Portanto, as pressões de contato são mantidas em valores baixos (vide as Figuras 1 a 3).

[0085] Para melhorar o efeito da primeira elipse, esta pode ser estreitada como ilustrado na segunda implementação da presente descrição (vide a Figura 2).

[0086] Ao aumentar adicionalmente a inclinação da porção cônica da superfície de raiz como ilustrado na segunda implementação (Figura 2), a superfície de contato entre crista e raiz é aumentada, e desta forma as pressões de contato são minimizadas e a escoriação é minimizada. O comprimento de contato entre crista/raiz é aproximadamente o dobro na segunda implementação, em comparação ao projeto ilustrado na primeira implementação. Este projeto minimiza a escoriação. Adicionalmente, um ângulo de inclinação (β) positivo (maior que zero) medido a partir do eixo de inclinação (α) do rosqueamento ajuda a manter a rosca em uma posição fechada. O ângulo β também é útil para aumentar a superfície de contato crista/raiz e ao mesmo tempo provê espaço adicional para a cavidade, para que haja redução da tensão, na raiz do pino (vide a Figura 2).

[0087] Com referência às Figuras 8A, 8B, 9A e 9B, onde foi usada análise de elementos finitos para gerar dados comparando parâmetros entre uma rosca padrão crista-raiz (CtR, como a ilustrada na Figura 4A) e o projeto com elipse dupla da presente descrição (como ilustrado na Figura 4D). Na Figura 8A, ciclos de

falha por fadiga são ilustrados para o projeto de rosca CTR padrão. Na Figura 8B, ciclos de falha por fadiga são ilustrados para o projeto com elipse dupla da presente descrição. Pode ser observado nas Figuras 8A e 8B como o projeto com elipse dupla da presente invenção impacta diretamente o número de ciclos para que ocorra falha, na zona onde o concentrador de tensão está localizado. A primeira camada de material (na área do concentrador de tensão, ou seja, na junta entre o flanco de carga e a superfície da raiz) no projeto CTR padrão é o que tem o menor número de ciclos, $1,120 \times 10^3$, até a falha por fadiga (Figura 8A), enquanto a área pontilhada (área próxima ao concentrador de tensão) no perfil de elipse dupla (Figura 8B) é o que tem o menor número de ciclos, $1,0 \times 10^4$. Pode ser observado que a vida útil até a fadiga do componente é aumentada com o projeto com elipse dupla da presente invenção.

[0088] Com referência às Figuras 9A e 9B, a distribuição de tensão e os valores *Von Misses* representativos para a rosca CTR padrão são ilustrados na Figura 9A, e o perfil de rosca com elipse dupla da presente descrição é ilustrado na Figura 9B. Pode ser visto que na Figura 9A (projeto CTR conhecido na arte) há valores altos de tensão *Von Misses* ao redor do concentrador de tensão e próximo aos pontos de contato entre as roscas macho e fêmea próximos ao concentrador de tensão. Porém, a Figura 9B (o perfil de rosca com elipse dupla da presente invenção) demonstra um nível mais baixo de valores de tensão e uma distribuição mais uniforme de tensão próximo ao concentrador de tensão. Os pontos de contato entre os membros macho e fêmea são desejavelmente espaçados do concentrador de tensão, e, portanto,

não contribuem para o estado tensionado da área próxima ao concentrador de tensão.

[0089] Várias modalidades da invenção foram descritas. Porém, deve ser entendido que podem ser feitas várias modificações sem se distanciar do espírito e do escopo da invenção. Desta forma, outras modalidades estão incluídas no escopo das reivindicações a seguir.

REIVINDICAÇÕES

1. Elemento tubular (11, 13) com um rosqueamento macho ou fêmea (100) disposto em uma extremidade (12) do elemento tubular propriamente dito, **caracterizado** por o rosqueamento macho ou fêmea compreender:

uma superfície cônica de raiz (101) com um primeiro ângulo de inclinação (β) medido entre a superfície cônica de raiz e um eixo longitudinal (aa) do rosqueamento, sendo a superfície cônica de raiz propriamente dita unida tangencialmente em uma primeira extremidade por meio de uma superfície curva côncava (102) com raio constante de curvatura a um flanco de contato (120), e sendo a superfície cônica de raiz propriamente dita unida em uma segunda extremidade por meio de uma superfície curva convexa (104) com raio constante de curvatura a uma cavidade da raiz (103);

sendo que a cavidade de raiz propriamente dita se estende da superfície cônica de raiz até um flanco de carga (150), e sendo que a cavidade de raiz propriamente dita inclui:

uma primeira porção compreendendo uma primeira superfície elíptica (106) com um raio variável de curvatura, sendo a primeira superfície elíptica propriamente dita parte de uma elipse (107); e

sendo que a cavidade de raiz propriamente dita inclui ainda uma segunda porção compreendendo uma segunda superfície elíptica (108) com um raio variável de curvatura, sendo a segunda superfície elíptica propriamente dita parte de uma segunda elipse (110), e sendo a segunda superfície elíptica propriamente dita unida tangencialmente em uma primeira extremidade à

primeira superfície elíptica propriamente dita, e sendo a segunda superfície elíptica propriamente dita unida tangencialmente em uma segunda extremidade ao flanco de carga.

2. Elemento tubular (11, 13) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por o primeiro ângulo de inclinação (β) ser de 0 grau, de forma que a superfície cônica de raiz (101) é paralela ao eixo de rosqueamento (aa).

3. Elemento tubular (11, 13) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por o primeiro ângulo de inclinação (β) ser menor que o valor medido para o ângulo entre o flanco de contato (120) e o eixo de rosqueamento (aa).

4. Elemento tubular (11, 13) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por um ângulo theta medido entre o eixo de rosqueamento (aa) e o eixo longitudinal (dd) da parede lateral do elemento tubular estar entre 1,5 grau e 12 graus.

5. Elemento tubular (11, 13) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por um eixo principal (cc) da segunda elipse (110) ser disposto perpendicularmente ao flanco de carga (150).

6. Elemento tubular (11, 13) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por um eixo principal (bb) da primeira elipse (107) ser perpendicular ao eixo principal (cc) da segunda elipse (110).

7. Elemento tubular (11, 13) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por um eixo principal (bb) da primeira elipse (107) ser alinhado com o eixo secundário da segunda elipse (110).

8. Elemento tubular (11, 13) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por a primeira elipse (107) ter um primeiro diâmetro pré-determinado (D1) ao longo de um eixo principal (bb), e um segundo diâmetro pré-determinado (D2) ao longo de um eixo secundário; e onde a segunda elipse (110) tem um diâmetro pré-determinado (D3) ao longo do eixo principal (cc) que é igual ao diâmetro (D1) ao longo do eixo principal (bb) da primeira elipse, e a segunda elipse tem um segundo diâmetro (D4) ao longo de um eixo secundário que é igual ao diâmetro (D2) ao longo do eixo secundário da primeira elipse.

9. Elemento tubular (11, 13) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por a primeira elipse (107) ter um primeiro diâmetro pré-determinado (D1) ao longo de um eixo principal (bb), e um segundo diâmetro pré-determinado (D2) ao longo de um eixo secundário; e onde a segunda elipse (110) tem um diâmetro pré-determinado (D3) ao longo de um eixo principal (cc) que é igual ao diâmetro (D1) ao longo do eixo principal (bb) da primeira elipse, e a segunda elipse tem um segundo diâmetro (D4) ao longo de um eixo secundário que é maior que o diâmetro (D2) ao longo do eixo secundário da primeira elipse.

10. Elemento tubular (11, 13) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por a primeira elipse (107) ter um primeiro diâmetro pré-determinado (D1) ao longo de um eixo principal (bb),

e um segundo diâmetro pré-determinado (D2) ao longo de um eixo secundário; e onde a segunda elipse (110) tem um diâmetro pré-determinado (D3) ao longo de um eixo principal (cc) e tem um segundo diâmetro (D4) ao longo de um eixo secundário que é maior que o diâmetro (D2) ao longo do eixo secundário da primeira elipse.

11. Elemento tubular (11, 13) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por a primeira elipse (107) ter um primeiro diâmetro pré-determinado (D1) ao longo de um eixo principal (bb), e um segundo diâmetro pré-determinado (D2) ao longo de um eixo secundário; e onde a segunda elipse (110) tem um diâmetro pré-determinado (D3) ao longo de um eixo principal (cc) e tem um segundo diâmetro (D4) ao longo de um eixo secundário que é menor que o diâmetro (D2) ao longo do eixo secundário da primeira elipse.

12. Elemento tubular (11, 13) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por a primeira elipse (107) ter um primeiro diâmetro pré-determinado (D1) ao longo de um eixo principal (bb), e um segundo diâmetro pré-determinado (D2) ao longo de um eixo secundário; e onde a segunda elipse (110) tem um diâmetro pré-determinado (D3) ao longo de um eixo principal (cc) e um segundo diâmetro (D4) ao longo de um eixo secundário; e onde o diâmetro (D3) ao longo do eixo principal (cc) da segunda elipse é menor que o diâmetro (D1) ao longo do eixo principal (bb) da primeira elipse.

13. Elemento tubular (11, 13) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por a primeira elipse (107) ter um primeiro diâmetro pré-determinado (D1) ao longo de um eixo principal (bb), e um segundo diâmetro pré-determinado (D2) ao longo de um eixo secundário; e onde a segunda elipse (110) tem um diâmetro pré-determinado (D3) ao longo de um eixo principal (cc) e um segundo diâmetro (D4) ao longo de um eixo secundário; e onde o diâmetro (D3) ao longo do eixo principal (cc) da segunda elipse é maior que o diâmetro (D1) ao longo do eixo principal (bb) da primeira elipse.

14. Elemento tubular (11, 13) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por o flanco de carga (150) ser disposto em relação a um ângulo medido entre o flanco de carga e uma linha perpendicular a um eixo do rosqueamento (aa), onde o ângulo propriamente dito varia de -9 a 5 graus.

15. Elemento tubular (11, 13) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por a segunda superfície elíptica (108) ser unida tangencialmente em uma primeira extremidade à primeira superfície elíptica (106) em um ponto de junção (109) que define a base da cavidade da raiz (103).

16. Elemento tubular (11, 13) de acordo com a reivindicação 15, **caracterizado** por a base da cavidade ser disposta na parede lateral do elemento tubular abaixo do nível da superfície cônica de raiz (101).

17. Conexão tubular rosqueada (10), **caracterizada** por compreender:

um elemento tubular macho (11) incluindo um rosqueamento cônico macho (100) com um eixo de inclinação (aa); e

um elemento tubular fêmea (13) incluindo um rosqueamento cônico fêmea (100) com um eixo de inclinação (aa), sendo que o rosqueamento fêmea propriamente dito coopera com o rosqueamento macho quando a conexão rosqueada é montada;

onde a superfície da raiz em pelo menos um dentre o rosqueamento cônico macho e o rosqueamento cônico fêmea compreende:

uma superfície cônica de raiz (101) com um primeiro ângulo de inclinação (β) medido entre a superfície cônica de raiz e um eixo longitudinal (aa) do rosqueamento, sendo a superfície cônica de raiz propriamente dita unida tangencialmente em uma primeira extremidade por meio de uma superfície curva côncava (102) com raio constante de curvatura a um flanco de contato (120), e sendo a superfície cônica de raiz propriamente dita unida em uma segunda extremidade por meio de uma superfície curva convexa (104) com raio constante de curvatura a uma cavidade da raiz (103);

sendo que a cavidade de raiz propriamente dita se estende da superfície cônica de raiz até um flanco de carga (150), e sendo que a cavidade de raiz propriamente dita inclui:

uma primeira porção compreendendo uma primeira superfície elíptica (106) com um raio variável de curvatura, sendo a primeira superfície elíptica propriamente dita parte de uma elipse (107); e

sendo que a cavidade de raiz propriamente dita inclui ainda uma segunda porção compreendendo uma segunda superfície elíptica (108) com um raio variável de curvatura, sendo a segunda superfície elíptica propriamente dita parte de uma segunda elipse (110), e sendo a segunda superfície elíptica propriamente dita unida tangencialmente em uma primeira extremidade à primeira superfície elíptica propriamente dita, e sendo a segunda superfície elíptica propriamente dita unida tangencialmente em uma segunda extremidade ao flanco de carga.

18. Conexão tubular rosqueada (10) de acordo com a reivindicação 17, **caracterizada** por o primeiro ângulo de inclinação (β) ser de 0 grau, de forma que a superfície cônica de raiz (101) é paralela ao eixo de rosqueamento (aa).

19. Conexão tubular rosqueada (10) de acordo com a reivindicação 17, **caracterizada** por o primeiro ângulo de inclinação (β) ser menor que o valor medido para o ângulo entre o flanco de contato (120) e o eixo de rosqueamento (aa).

20. Conexão tubular rosqueada (10) de acordo com a reivindicação 17, **caracterizada** por um ângulo theta medido entre o eixo de rosqueamento (aa) e o eixo longitudinal (dd) da parede lateral do elemento tubular estar entre 1,5 grau e 12 graus.

21. Conexão tubular rosqueada (10) de acordo com a reivindicação 17, **caracterizada** por um eixo principal (cc) da segunda elipse (110) ser disposto perpendicularmente ao flanco de carga (150).

22. Conexão tubular rosqueada (10) de acordo com a reivindicação 17, **caracterizada** por um eixo principal (bb) da primeira elipse (107) ser perpendicular ao eixo principal (cc) da segunda elipse (110).

23. Conexão tubular rosqueada (10) de acordo com a reivindicação 17, **caracterizada** por um eixo principal (bb) da primeira elipse (107) ser alinhado com o eixo secundário da segunda elipse (110).

24. Conexão tubular rosqueada (10) de acordo com a reivindicação 17, **caracterizada** por a primeira elipse (107) ter um primeiro diâmetro pré-determinado (D1) ao longo de um eixo principal (bb), e um segundo diâmetro pré-determinado (D2) ao longo de um eixo secundário; e onde a segunda elipse (110) tem um diâmetro pré-determinado (D3) ao longo do eixo principal (cc) que é igual ao diâmetro (D1) ao longo de um eixo principal (bb) da primeira elipse, e a segunda elipse tem um segundo diâmetro (D4) ao longo de um eixo secundário que é igual ao diâmetro (D2) ao longo do eixo secundário da primeira elipse.

25. Conexão tubular rosqueada (10) de acordo com a reivindicação 17, **caracterizada** por a primeira elipse (107) ter um primeiro diâmetro pré-determinado (D1) ao longo de um eixo principal (bb), e um segundo diâmetro pré-determinado (D2) ao longo de um eixo secundário; e onde a segunda elipse (110) tem um diâmetro pré-determinado (D3) ao longo de um eixo principal (cc) que é igual ao diâmetro (D1) ao longo do eixo principal (bb) da primeira elipse, e a segunda elipse tem um segundo diâmetro (D4) ao longo

de um eixo secundário que é maior que o diâmetro (D2) ao longo do eixo secundário da primeira elipse.

26. Conexão tubular rosqueada (10) de acordo com a reivindicação 17, **caracterizada** por a primeira elipse (107) ter um primeiro diâmetro pré-determinado (D1) ao longo de um eixo principal (bb), e um segundo diâmetro pré-determinado (D2) ao longo de um eixo secundário; e onde a segunda elipse (110) tem um diâmetro pré-determinado (D3) ao longo de um eixo principal (cc) e tem um segundo diâmetro (D4) ao longo de um eixo secundário que é maior que o diâmetro (D2) ao longo do eixo secundário da primeira elipse.

27. Conexão tubular rosqueada (10) de acordo com a reivindicação 17, **caracterizada** por a primeira elipse (107) ter um primeiro diâmetro pré-determinado (D1) ao longo de um eixo principal (bb), e um segundo diâmetro pré-determinado (D2) ao longo de um eixo secundário; e onde a segunda elipse (110) tem um diâmetro pré-determinado (D3) ao longo de um eixo principal (cc) e tem um segundo diâmetro (D4) ao longo de um eixo secundário que é menor que o diâmetro (D2) ao longo do eixo secundário da primeira elipse.

28. Conexão tubular rosqueada (10) de acordo com a reivindicação 17, **caracterizada** por a primeira elipse (107) ter um primeiro diâmetro pré-determinado (D1) ao longo de um eixo principal (bb), e um segundo diâmetro pré-determinado (D2) ao longo de um eixo secundário; e onde a segunda elipse (110) tem um diâmetro pré-determinado (D3) ao longo de um eixo principal (cc) e um segundo

diâmetro (D4) ao longo de um eixo secundário; e onde o diâmetro (D3) ao longo do eixo principal (cc) da segunda elipse é menor que o diâmetro (D1) ao longo do eixo principal (bb) da primeira elipse.

29. Conexão tubular rosqueada (10) de acordo com a reivindicação 17, **caracterizada** por a primeira elipse (107) ter um primeiro diâmetro pré-determinado (D1) ao longo de um eixo principal (bb), e um segundo diâmetro pré-determinado (D2) ao longo de um eixo secundário; e onde a segunda elipse (110) tem um diâmetro pré-determinado (D3) ao longo de um eixo principal (cc) e um segundo diâmetro (D4) ao longo de um eixo secundário; e onde o diâmetro (D3) ao longo do eixo principal (cc) da segunda elipse é maior que o diâmetro (D1) ao longo do eixo principal (bb) da primeira elipse.

30. Conexão tubular rosqueada (10) de acordo com a reivindicação 17, **caracterizada** por o flanco de carga (150) ser disposto em relação a um ângulo medido entre o flanco de carga e uma linha perpendicular a um eixo do rosqueamento (aa), onde o ângulo propriamente dito varia de -9 a 5 graus.

31. Conexão tubular rosqueada (10) de acordo com a reivindicação 17, **caracterizada** por a segunda superfície elíptica (108) ser unida tangencialmente em uma primeira extremidade à primeira superfície elíptica (106) em um ponto de junção (109) que define a base da cavidade da raiz (103).

FIGURA 1

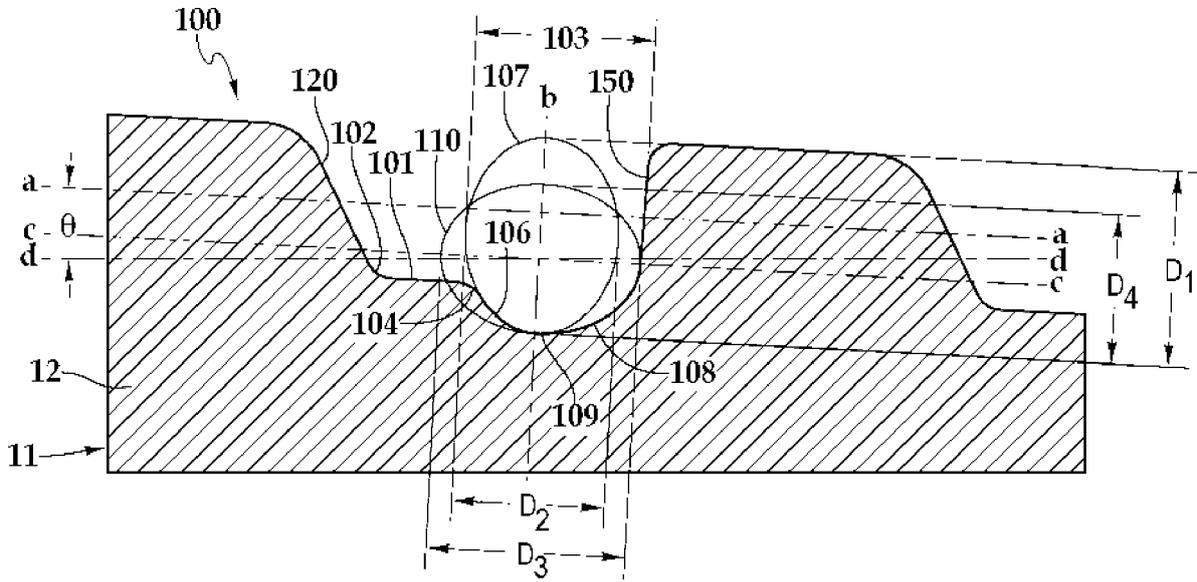


FIGURA 1A

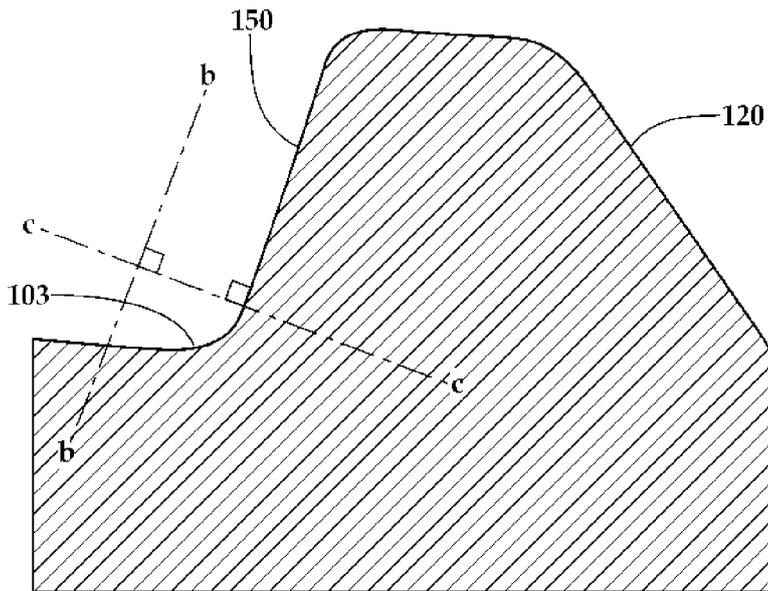


FIGURA 2

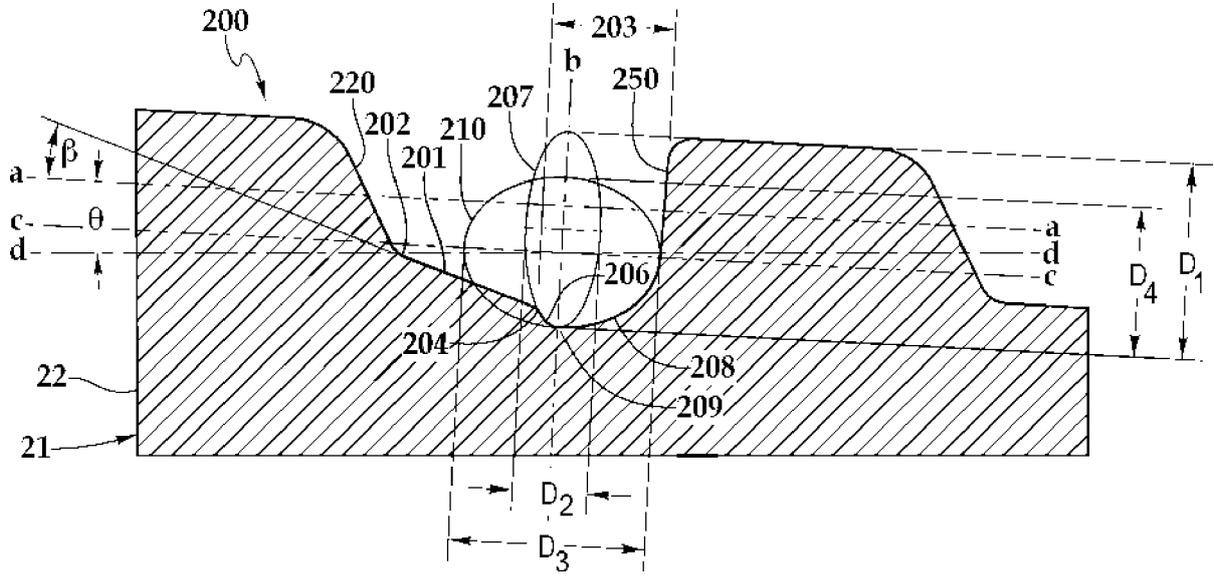


FIGURA 2A

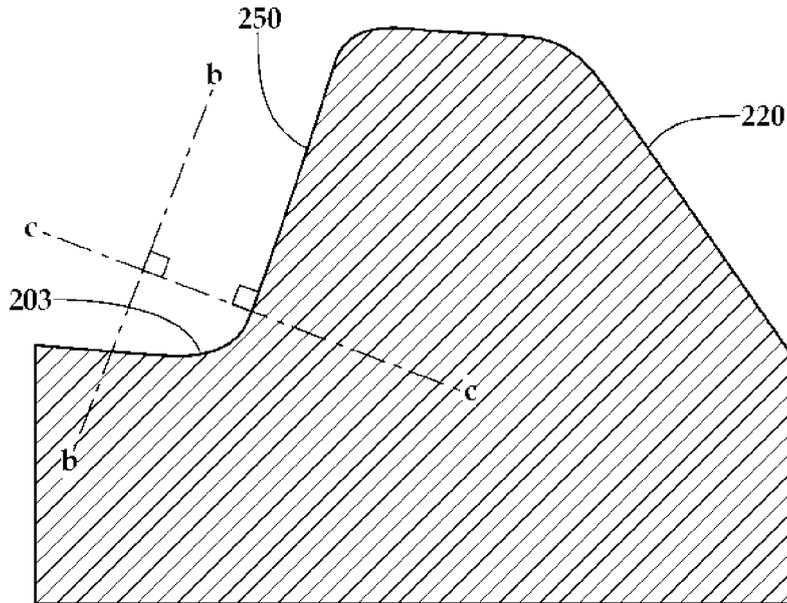


FIGURA 3

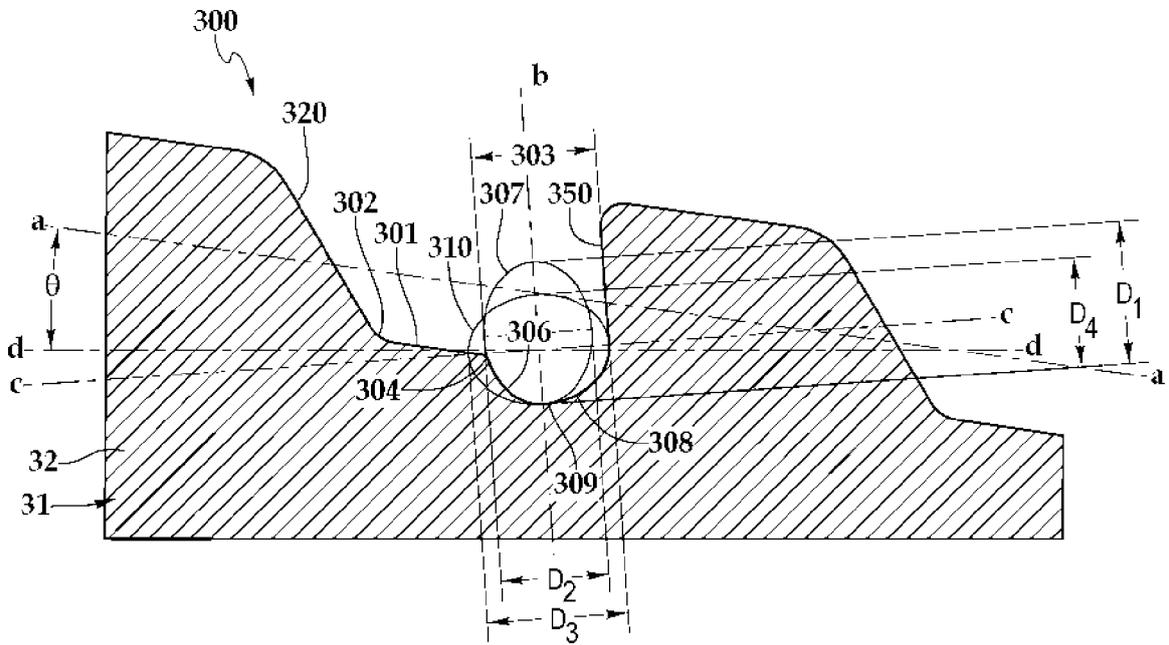


FIGURA 3A

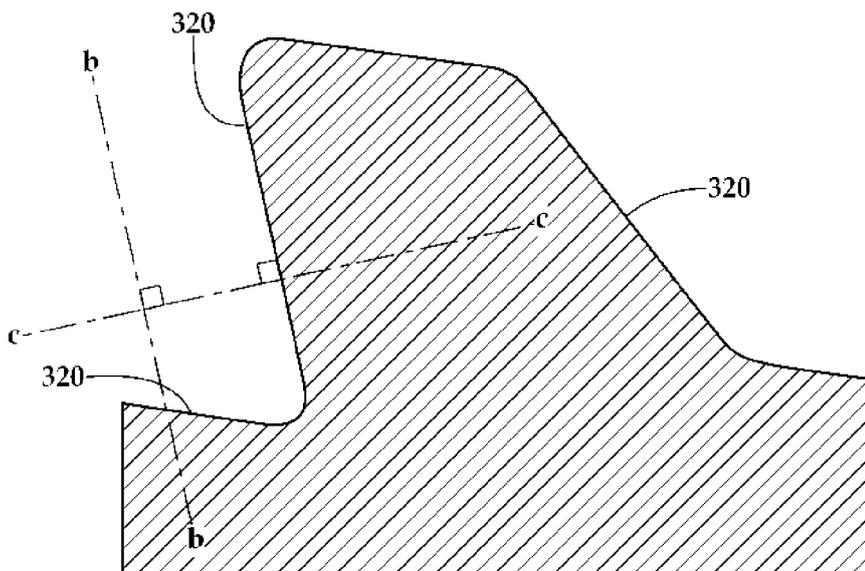


FIGURA 4A

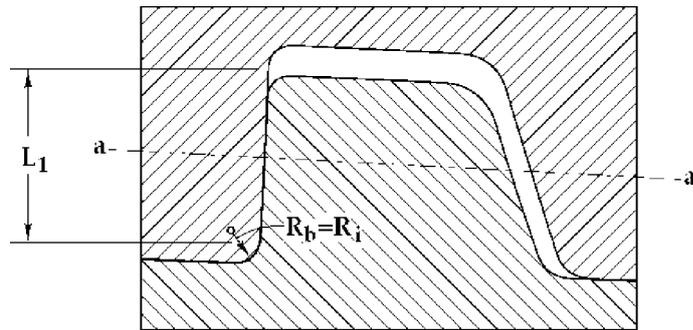


FIGURA 4B

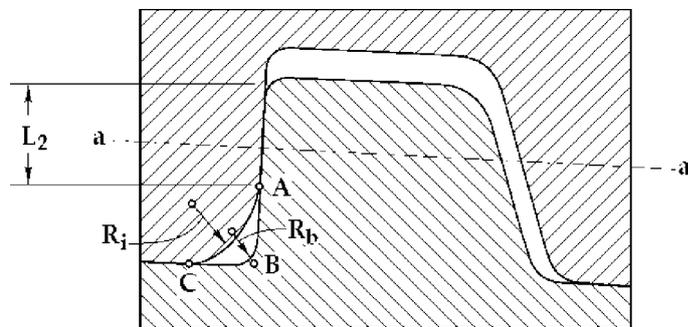


FIGURA 4C

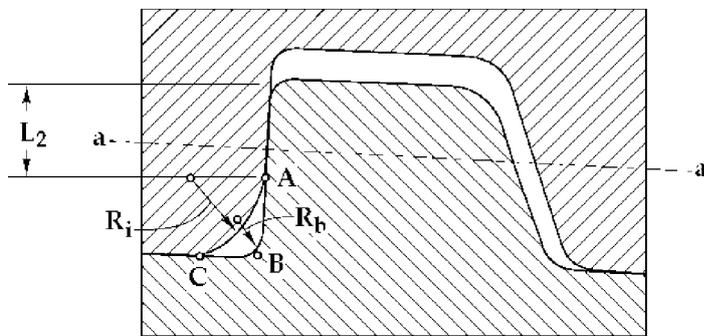


FIGURA 4D

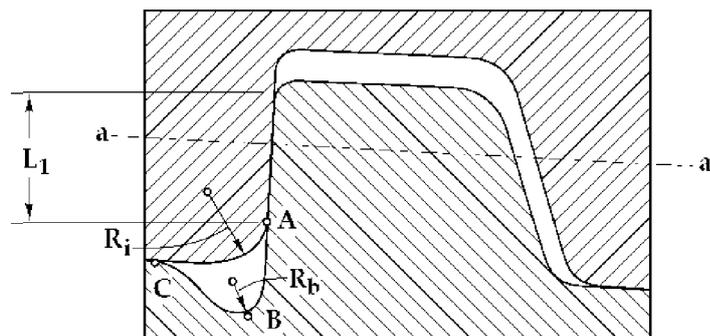


FIGURA 5

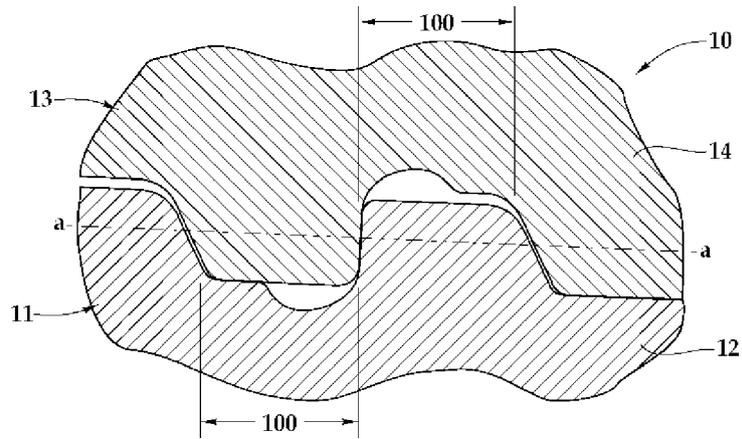


FIGURA 6

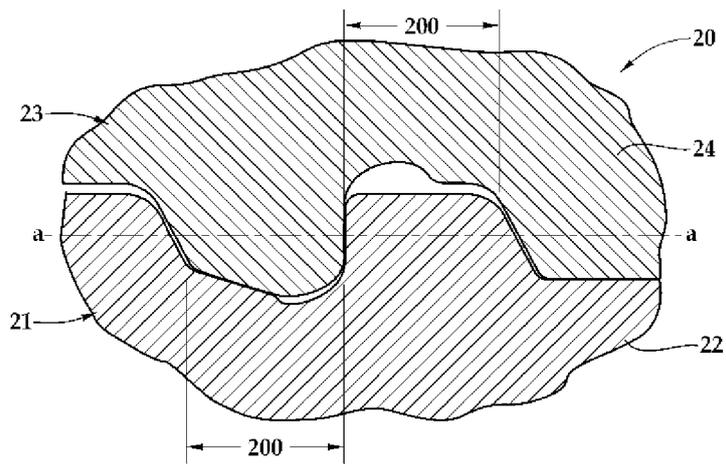


FIGURA 7

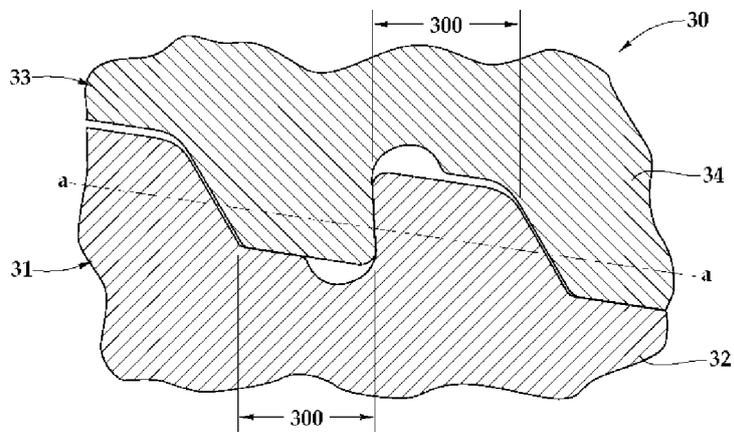


FIGURA 8A

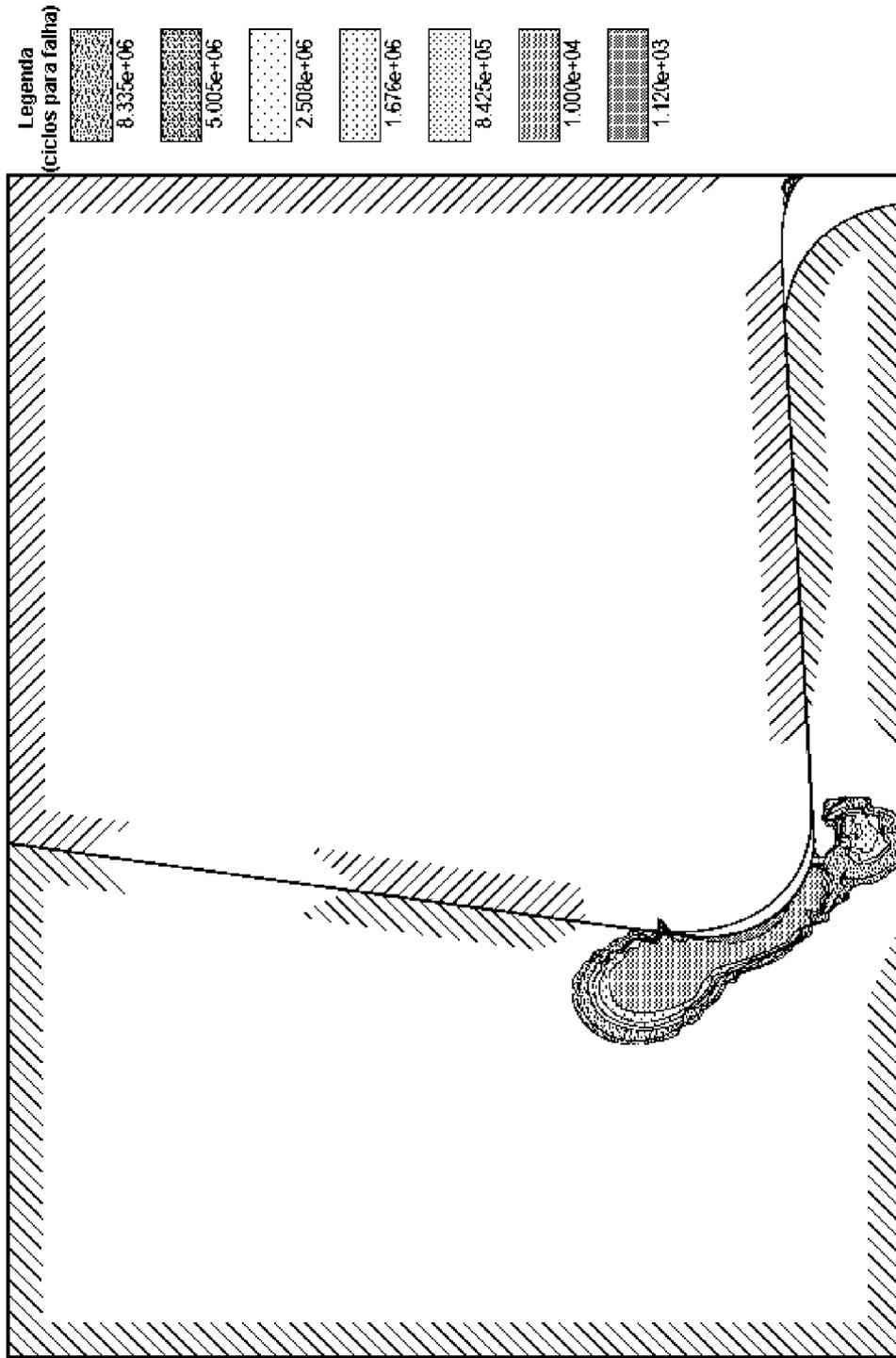


FIGURA 8B

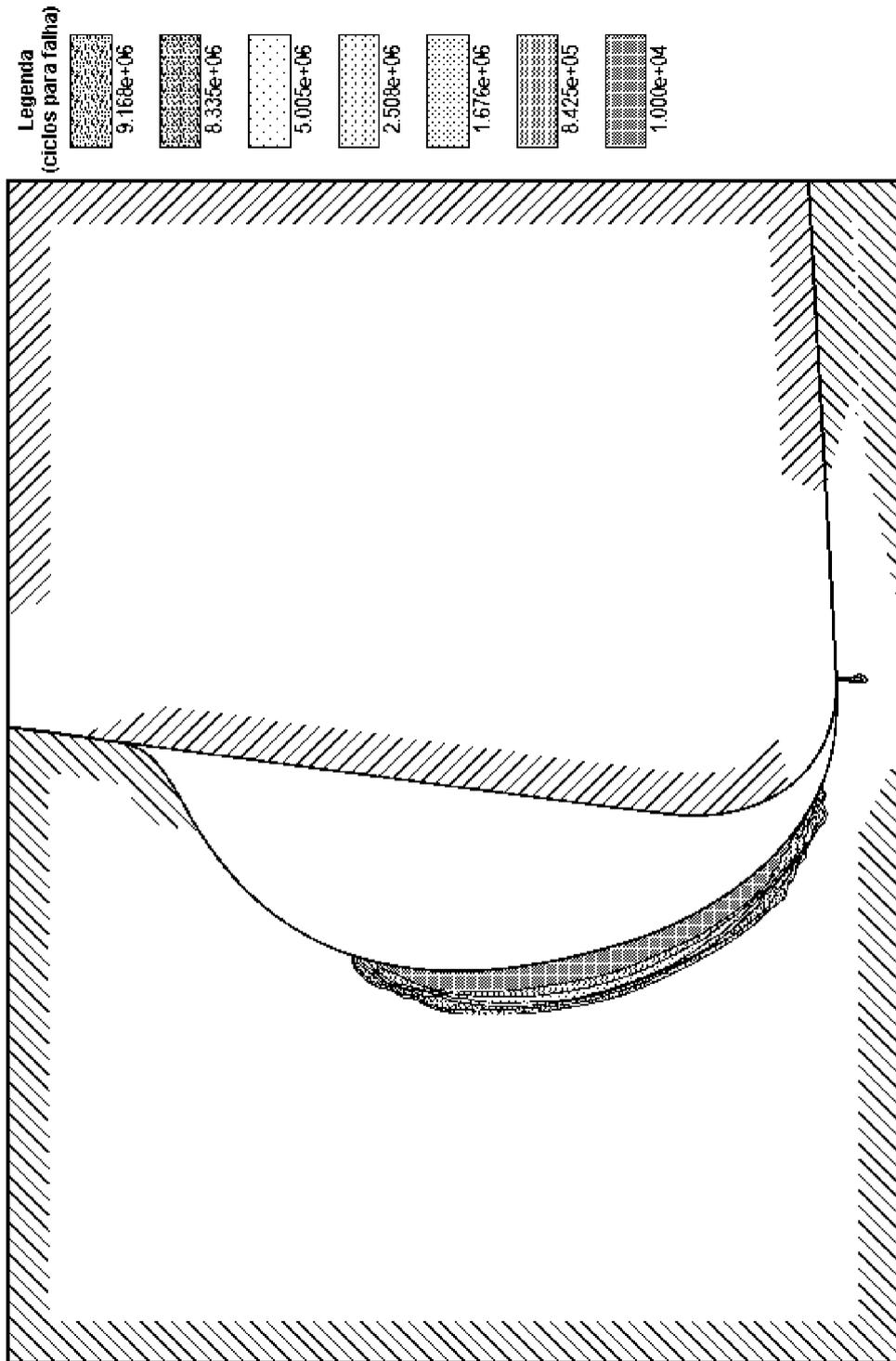


FIGURA 9A

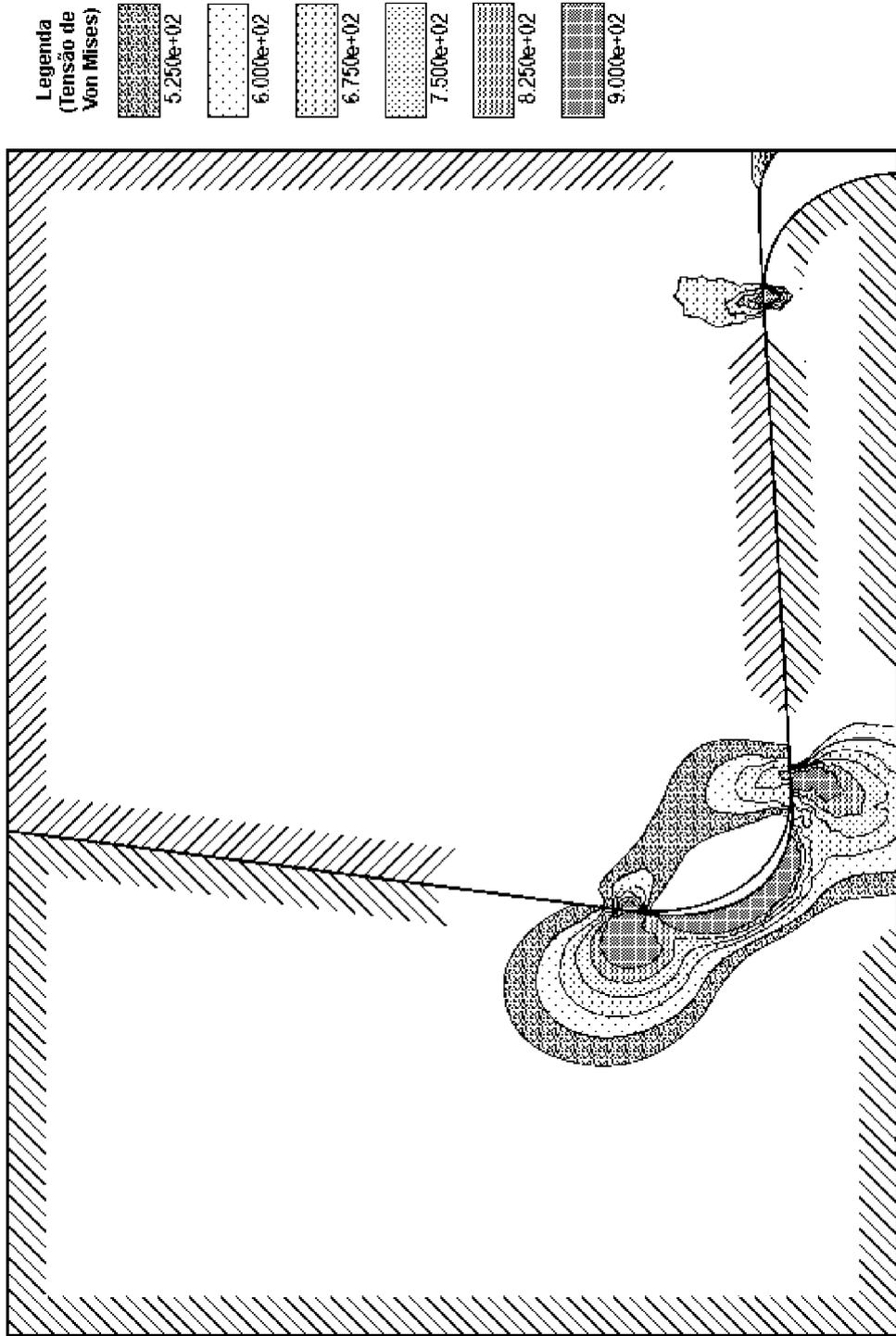


FIGURA 9B

